

深翻结合心土与不同改土物料混合改良白浆土的效果

朱宝国^{1,2}, 张春峰^{1,2*}, 贾会彬^{1,2}, 孟庆英^{1,2}, 王囡囡^{1,2},

张立波^{1,2}, 匡恩俊³, 王庆胜¹, 刘俊刚¹, 高雪冬¹

(1. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 佳木斯 154007; 2. 黑龙江省白浆土改良工程中心, 佳木斯 154007;

3. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 哈尔滨 150086)

摘 要: 该研究通过设置心土混拌配施改土物料区和浅翻深松区进行小区对比试验, 调查心土混拌配施不同改土物料对白浆土心土理化性质的改良效果, 进而进一步拓宽白浆土心土改良途径。试验共设置浅翻深松区 (CK); 心土混合区 (SML); 秸秆+心土混合区 (S+SML); 秸秆+心土混合区+磷肥 (S+SML+P), 秸秆+心土混合区+石灰 (S+SML+L); 秸秆+心土混合区+石灰+磷肥 (S+SML+L+P) 6 个处理。研究结果表明: 1) 与浅翻深松 (CK) 相比, 深翻结合心土与不同改土物料混合能够改善心土层土壤物理性质, 20~40 cm 土层土壤含水率提高幅度为 2.11~6.11 个百分点; 硬度降低 40%~50%, 且没有出现峰值; 提高土壤通透性, 改善土壤三相比值, 固相降低幅度为 8.5~9.97 个百分点, 液相增加幅度为 2.82~5.41 个百分点, 气相增加幅度为 3.89~6.65 个百分点, 容重下降幅度为 10.13%~17.09%。2) 提高心土层养分含量, 碱解氮提高 82.75%~121.63%, 有效磷提高 190.91%~681.82%, 特别是添加磷肥处理变化明显, 是对照处理 6.5~6.8 倍, 速效钾提高 20.7%~40.74%。有机质提高 157.14%~185.71%。缓解土壤酸性, 加石灰处理 pH 值提高 0.45~0.47 个单位。提高土壤全量养分, 全氮提高 45.76%~52.54%, 全磷提高 108.14%~144.19%, 全钾提高 8.10%~26.34%。3) 连续两年提高作物产量。与对照区相比, 第 1 年大豆增产 13.42%~24.46%, 第 2 年玉米增产 13.43%~19.17%, 一次改土后效时间长, 增产效果显著。研究结果认为, 心土混合配施秸秆、石灰和磷肥是白浆土区比较理想的心土改良技术, 可为白浆土及其同类低产土壤改良及作物增产提供技术支撑。

关键词: 土壤; 秸秆; 石灰; 心土混合; 改土物料; 白浆土; 物理性质; 化学性质

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.14.014

中图分类号: S223

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2018)-14-0107-08

朱宝国, 张春峰, 贾会彬, 孟庆英, 王囡囡, 张立波, 匡恩俊, 王庆胜, 刘俊刚, 高雪冬. 深翻结合心土与不同改土物料混合改良白浆土的效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 107-114. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.14.014

http://www.tcsae.org

Zhu Baoguo, Zhang Chunfeng, Jia Huibin, Meng Qingying, Wang Nannan, Zhang Libo, Kuang Enjun, Wang Qingsheng, Liu Jungang, Gao Xuedong. Improving effect of planosol by deep tillage combined with subsoil mixed with ameliorative materials[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(14): 107-114. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.14.014 http://www.tcsae.org

0 引 言

白浆土是中国东北地区主要农田土壤之一, 黑龙江和吉林两省分布相对集中, 在黑龙江省其总面积约为 331.2 万 hm^2 , 该省东部三江平原地区是白浆土集中分布区, 耕地面积达到 88.4 万 hm^2 , 约占该区总耕地面积的 25.4%^[1]。白浆土的心土在作物生育期间经常呈现“硬、板、瘦”的理化特性^[2-3], 不但引发耕层严重的表旱表涝, 而且致使作物根系有效土层浅至只有 20 cm 左右。白浆土是区域性低产土壤, 低产原因主要有 3 个方面: 一是黑土层薄, 总养分蓄量低; 二是白浆层土质坚硬, 作物

根系难以下扎; 三是土壤垦殖后加剧偏酸^[4-5]。因此, 改良和利用好这类土壤资源, 对于改变白浆土区低产面貌, 提高中国粮食总产具有重要意义。

多年来, 白浆土改土实践受到持续关注, 虽然取得一定成效但也面临很大的局限性。在生产中被应用相当广泛的是深松改土措施, 但因土壤粉砂含量高, 深松遇雨后白浆层很快沉实^[6-7], 一般改土效果只在当年, 因此需要年年深松, 造成作业成本逐年累加, 而白浆土的低产障碍并没有从根本上得到有效克服。

根据白浆土在机械组成上呈现两层性的特点, 赵德林等^[8-10]提出了以淀积层的“黏”来治白浆层的“砂”的改土路线, 经过多年试验研究, 明确了“上翻 20 cm, 下混 30~40 cm”的改土原理。Araya 等^[11-13]、Liu 等^[14-15]根据其改土理论成功地研制了三段式心土混层犁, 这一改土机械可以在保持黑土层位置不变的条件下, 即将白浆层和淀积层按约 1:1 厚度混拌以后, 土壤通透性能和贮水能力显著改善, 同时由于耕作深度可达 50 cm 以上, 在三江平原国营农场和地方市县进行的大面积改土示范

收稿日期: 2018-03-19 修订日期: 2018-05-04

基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201503116-01) 资助

作者简介: 朱宝国, 男, 黑龙江依兰人, 助理研究员, 主要从事土壤肥料与低产土壤改良研究。Email: zhubaoguo82@163.com

*通信作者: 张春峰, 男, 黑龙江汤原人, 研究员, 博士, 主要从事土壤肥料与低产土壤改良研究。Email: chunfeng-1@163.com

中国农业工程学会会员: 朱宝国 (E040500133M)

表明, 其对白浆土物理性质的改良效果十分明显, 一次改土后效可持续 5 a 以上。但该种改土机械只是改变了白浆土不良物理性状, 白浆土心土养分贫瘠的不良化学性状并没有改变^[16-17]。随着改土实践的不断深入, 在已有三段式心土混层犁的基础上, 具有将根茬秸秆和改土物料混入心土的秸秆心土混合犁^[18]被研制开发出来, 这一兼具综合改土目标的改土机械为进一步解决白浆土心土养分贫瘠的不良化学性提供了可行性, 也为解决作物结构调整以后出现的秸秆过剩问题开辟了新的途径。本项研究通过设置深翻结合心土混合改土物料区和浅翻深松区进行小区对比试验, 调查心土混拌配施不同改土物料处理对白浆土心土理化性质的效果, 指示作物产量变化等, 明确白浆土心土改良效果, 进一步拓宽白浆土心土改良新途径, 为机械配施改土物料改良白浆土心土技术的广泛应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 区域概况

八五四农场位于三江平原东部, 完达山南麓, 穆棱河兴凯湖沉积平原东北部, 虎林市境内。地处东经 132°46′~133°15′, 北纬 45°58′~46°10′。属温带大陆性季风气候, 冬长夏短, 冬季受大陆气团控制, 强劲的西北风经常吹袭, 严寒少雨干燥。夏季受副热带海洋气团的影响, 降水集中, 气温湿润, 春秋季短促, 气候多变。年均温度为 2.4 °C, 年内温差为-41.1~35.7 °C, 年活动积温 (≥ 10 °C) 2 442.8 °C。无霜期 131 d。

1.2 试验地点

试验于 2016-2017 年在黑龙江省八五四农场旱田试验站进行, 2016 年降雨量 545 mm, 2017 年降雨量 433.1 mm, 具体每月降雨量如下 (表 1) 所示。试验采取持续定位测定, 供试土壤类型为白浆土, 土壤剖面各层次深度分布为 0~20 cm 黑土层 (耕层), 20~40 cm 白浆层, 40~60 cm 是淀积层。耕层土壤含有机质 30.22 g/kg、全氮 1.89 g/kg、全磷 0.89 g/kg、全钾 12.61 g/kg、碱解氮 150.4 mg/kg、有效磷 32.4 mg/kg、速效钾 137.0 mg/kg, 土壤 pH 5.71。试验区地势平坦, 无灌溉条件。

表 1 2016—2017 年八五四农场降雨量

年份 Year	时间 Time	月份 Month				
		五月 May	六月 June	七月 July	八月 August	九月 September
2016	上旬	48.6	9.9	12.4	8.0	57.5
	中旬	35.1	29.2	18.1	6.8	24.1
	下旬	49.3	6.3	24.7	50.2	10.5
2017	上旬	15.9	29.7	0.4	43.4	14.5
	中旬	13.5	42.5	46.6	0.0	22.6
	下旬	23.7	13.4	28.5	20.9	11.2

1.3 试验设计

采用随机区组设计, 共设 6 个处理, 分别为: 1) 普

通深松区 (CK), 采用普通翻地犁进行作业, 作业深度为 15~20 cm。2) 心土混合区 (SML), 采用自主研发的秸秆心土混合犁作业, 该犁为上翻下混的作业模式, 上翻 20 cm, 下混 30~40 cm, 作业深度为 50~60 cm。3) 秸秆+心土混合区 (S+SML); 4) 秸秆+心土混合区+磷肥 (S+SML+P); 5) 秸秆+心土混合区+石灰 (S+SML+L); 6) 秸秆+心土混合区+石灰+磷肥 (S+SML+L+P)。具体秸秆施用量、改土物料用量和肥料施用量见表 2。其中氮使用肥料为尿素 (含氮 46.3%), 磷使用肥料为重过磷酸钙 (含 P_2O_5 43%), 钾使用肥料为氯化钾 (含 K_2O 60%)。每个处理 3 次重复, 18 个小区, 每个小区 10 m, 宽 6.5 m (5 垄, 垄距 1.3 m), 小区面积 65 m², 试验区面积 1 170 m²。试验区于 2016 年 5 月 10 播种, 10 月 1 日收获, 2017 年 5 月 8 日播种, 9 月 30 日收获; 供试品种为: 2016 年大豆 “垦农黑大豆 1 号”, 密度为 30 万株/hm², 2017 年玉米 “38P05”, 密度 7 万株/hm²。秋季秸秆粉碎后和磷肥、石灰撒入不同处理地表用秸秆心土混合犁还入心土层, 其他肥料做基肥播种时一次性施入, 各处理田间管理一致。

表 2 不同处理试验设计

Table 2 Test design of different treatments

处理 Treatment	秸秆还田量 Straw returning /(kg·hm ⁻²)	磷肥用量 P fertilizer rates /(kg·hm ⁻²)	石灰用量 Lime rates /(kg·hm ⁻²)	肥料用量 Fertilizer rates/(kg·hm ⁻²)
CK	0	0	0	N 54.6+P ₂ O ₅ 69+K ₂ O 27
SML	0	0	0	N 54.6+P ₂ O ₅ 69+K ₂ O 27
S+SML	18 000	0	0	N 54.6+P ₂ O ₅ 69+K ₂ O 27
S+P+SML	18 000	60	0	N 54.6+P ₂ O ₅ 69+K ₂ O 27
S+L+SML	18 000	0	600	N 54.6+P ₂ O ₅ 69+K ₂ O 27
S+P+L+SML	18 000	60	600	N 54.6+P ₂ O ₅ 69+K ₂ O 27

1.4 秸秆心土混合犁结构及工作原理

1.4.1 工作原理

作业时, 第 1 犁翻耕 20 cm 表土层 (AP 层); 第 2 犁随即将下一袋表层根茬和改土物料约 3~5 cm 刮入第 1 犁耕起的犁沟中; 第 3 犁沿着第 1 犁的犁沟表面向下耕起约 20 cm 心土 (AW 层), 同时, 第 4 犁沿着第 3 犁犁沟表面再向下耕起约 10~15 cm 心土 (B 层)。第 2 犁耕起的根茬和改土物料与第 3 犁、第 4 犁耕起的两层心土, 经第 4 犁的栅条末端落下, 横袋变立袋, 产生土层混拌和改土物料与心土随机混拌。重复作业时, 下一袋已经被刮掉根茬的厚约 15~17 cm 的表土层被翻扣在已经混拌和培肥的心土之上。

1.4.2 机械性能参数

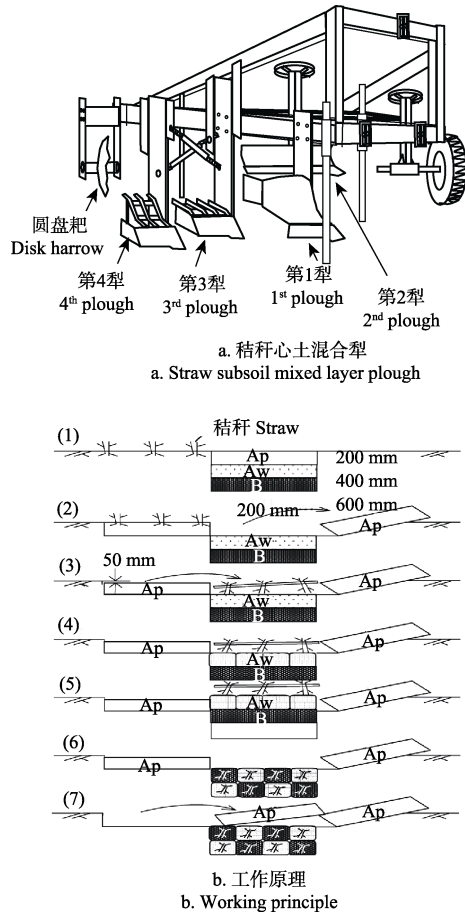
1) 外形尺寸: 主梁长 3 820 mm, 犁架宽 2 480 mm, 犁架高 2 065 mm。2) 整机质量 0.85 t。3) 作业指标: 耕作幅宽: 46~60 cm, 耕作深度: 40~60 cm, 入土行程 3.1 m, 牵引阻力: 2.0~3.5 t, 作业效率: 0.2~0.4 hm²/h。

1.5 调查项目与方法

1.5.1 土壤含水率测定

土壤含水率采用土钻取土烘干法测定, 选择作物需

水关键时期进行采样, 采样深度为 60 cm, 按 0~20、20~40、40~60 cm 分层取样, 每层取 3 点, 每处理结果取平均值, 取样时间是 2016 年 7 月 1 次, 2017 年的 8 月 1 次。



注: Ap: 耕层; Aw: 白浆层; B 层: 淀积层。(1)~(7)为犁作业步骤。
Note: AP: top soils; Aw: planosol; B: illuvial horizon. (1)-(7) were working step of plough.

图 1 秸秆心土混合犁及其工作原理

Fig.1 Straw subsoil mixed layer plough and its working principle

1.5.2 土壤硬度测定

土壤硬度用日本大起理工制 DIK-5521 贯入式土壤硬度计测定, 圆锥底面 2 cm², 测定深度 60 cm, 按 0、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60 cm 深度点测定, 每小区连续测定 10 点, 每点距离 10 cm, 每处理结果取平均值, 测定时间与土壤含水率取样时间一致。

1.5.3 土壤容重和三相测定

土壤容重用环刀法取样烘干测定, 土壤三相采用日本 DIK-1120 土壤三相仪器测定, 采取人工方式挖土壤剖面, 每个处理去掉四周边际按三角形选点, 挖 3 个 100 cm×100 cm×120 cm 土壤剖面, 用环刀取原状土样, 环刀规格为高 5 cm, 容积 100 cm³, 环刀按 0~20、20~40、40~60 cm 分层取样, 每层取 3 点, 每处理结果取平均值, 环刀样扣盖, 密封后备用。

1.5.4 土壤化学指标测定

土壤 pH 值采用美国产原位土壤 pH 计测定, 土壤碱解氮采用扩散吸收法测定; 土壤速效磷采用碳酸氢钠提取法测定; 速效钾采用盐酸浸提-AAS 法测定; 土壤有机

质采用重铬酸钾外加热法测定; 土壤全氮采用半微量开氏法; 土壤全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法; 土壤全钾采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定^[19]。用土钻进行采样, 土壤采样深度为 60 cm, 按 0~20、20~40、40~60 cm 分层取样, 每层取 1 个混合样, 每处理结果取平均值, 采样时间为 2017 年 10 月 10 日。

1.5.5 产量指标测定

全区收获测产。每区选有代表性的 20 株进行产量构成因素测定。

1.6 数据分析

采用 DPS 7.05 和 Excel 2007 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤物理性质的影响

2.1.1 对土壤含水率、容重和土壤三相的影响

心土混合保持耕层土壤位置不变的情况下, 将白浆层和淀积层两层土壤进行随机混拌, 改变了白浆土白浆层不良物理结构, 从而降低心土层硬度, 提高土壤通透性和贮水库容, 有利于作物根系的下扎, 促进作物生长发育。从表 3 可以看出, 土壤处理 2 a 后, 与浅翻深松区相比, 心土混合配施改土物料处理区心土层物理性质发生明显变化。从不同层次分析, 0~20 cm 耕层土壤物理性质变化不明显。>20~40 cm 心土层土壤含水率明显提高, 心土混合配施改土物料各区含水率提高幅度为 2.11~6.11 个百分点, 改善土壤三相比值, 固相降低, 降低幅度为 8.5~9.97 个百分点, 液相和气相提高, 提高幅度分别为 2.82~5.41 个百分点和 3.89~6.65 个百分点, 容重降低, 降低幅度为 10.13%~17.09%, >40~60 cm 土层土壤物理性质受上层心土混合及添加改土物料的影响, 物理性质有所改善, 但变化不明显。添加秸秆处理由于秸秆占据一定空间, 增大了贮水库容, 提高了土壤的含水率, 降低土壤容重, 添加秸秆处理好于不添加秸秆处理。因此, 心土混合配施改土物料后, 白浆土坚硬的白浆层被打破, 提高土壤通透性, 土壤物理性状得到明显改善。

2.1.2 对土壤硬度的影响

白浆土存在不良层次白浆层, 该层土壤粉砂含量高, 容易沉实, 造成土壤板结、紧实, 硬度大, 淀积层混拌白浆层后, 土壤机械组成由原来的两层性变为三层性, 即耕层、混拌层和淀积层, 土壤硬度明显降低。从图 2 可以看出, 连续 2 a 的调查显示, 浅翻深松区土壤处理 1 a 后, 0~60 cm 土层土壤随着土层加深硬度先增大后减小, 在 >20~40 cm 处出现峰值, 说明土壤处理后, 经过一个作物生长季硬度即恢复原状。心土混合配施改土物料区改土 2 a 后, 各处理随着土层深度的加深硬度由小变大, 但 >20~40 cm 白浆层区域没有出现峰值, 且硬度较小。与浅翻深松区相比, >20~40 cm 心土层土壤硬度下降幅度为 40%~50%, 0~20、40~60 cm 土层土壤硬度虽有下降, 但变化不明显。改土后作物根系能够下扎, 满足根系正常生长要求, 改土效果显著。

表 3 不同处理土壤物理性质变化
Table 3 Changes of soil physical property with different treatments

处理 Treatments	土层 Soil layer/cm	土壤含水率 Soil water content/%	土壤容重 Soil density/(g·cm ⁻³)	固相 Solid phase/%	液相 Liquid phase/%	气相 Air phase/%
CK	0~20	23.55±0.41a	1.22±0.06a	44.20±0.89a	36.38±0.68a	19.42±0.65a
	>20~40	22.66±0.46c	1.58±0.06a	56.99±0.80a	31.41±0.90b	11.60±0.66c
	>40~60	23.43±0.40b	1.52±0.07a	52.18±0.85a	35.48±0.68b	12.34±1.06c
SML	0~20	24.98±0.54a	1.17±0.06a	45.59±0.49a	36.67±0.69a	17.74±0.64a
	>20~40	24.77±0.33b	1.32±0.06b	48.49±1.01b	35.27±0.54a	16.24±0.64ab
	>40~60	26.59±0.43a	1.48±0.07a	51.38±0.68b	35.98±1.02b	12.64±0.47c
S+SML	0~20	24.24±0.58a	1.19±0.07a	44.25±0.96a	37.36±0.87a	18.39±0.54a
	>20~40	27.17±0.54a	1.30±0.06b	47.02±1.08b	34.73±0.50a	18.25±0.56a
	>40~60	25.30±0.39a	1.47±0.05a	50.08±0.98b	33.02±1.06a	16.90±0.58a
S+SML+P	0~20	25.91±0.48a	1.16±0.06a	45.62±1.01a	35.88±0.60a	18.50±0.66a
	>20~40	28.31±0.32a	1.21±0.06b	47.67±0.63b	34.23±0.65a	18.10±0.71a
	>40~60	26.40±0.52a	1.46±0.07a	51.63±0.92b	32.95±0.72a	15.42±0.50a
S+SML+L	0~20	24.17±0.53a	1.16±0.06a	45.41±0.67a	37.54±0.64a	17.05±0.74a
	>20~40	28.51±0.43a	1.24±0.05b	48.08±1.10b	36.43±0.89a	15.49±0.49b
	>40~60	26.89±0.37a	1.46±0.06a	50.99±1.02b	36.52±0.53b	12.49±0.48c
S+SML+L+P	0~20	25.45±0.46a	1.12±0.06a	45.04±1.17a	38.72±0.69a	16.24±0.65a
	>20~40	28.77±0.53a	1.25±0.06b	47.19±1.08b	36.82±0.94a	15.99±0.66ab
	>40~60	26.19±0.53a	1.45±0.09a	50.90±0.89b	35.91±0.91b	13.19±0.61b

注：不同处理相同土层同一列不同小写字母代表 0.05 水平差异显著。
Note: Different lowercase letters in the same column and soil layer of different treatments indicate significant difference at 0.05 level.

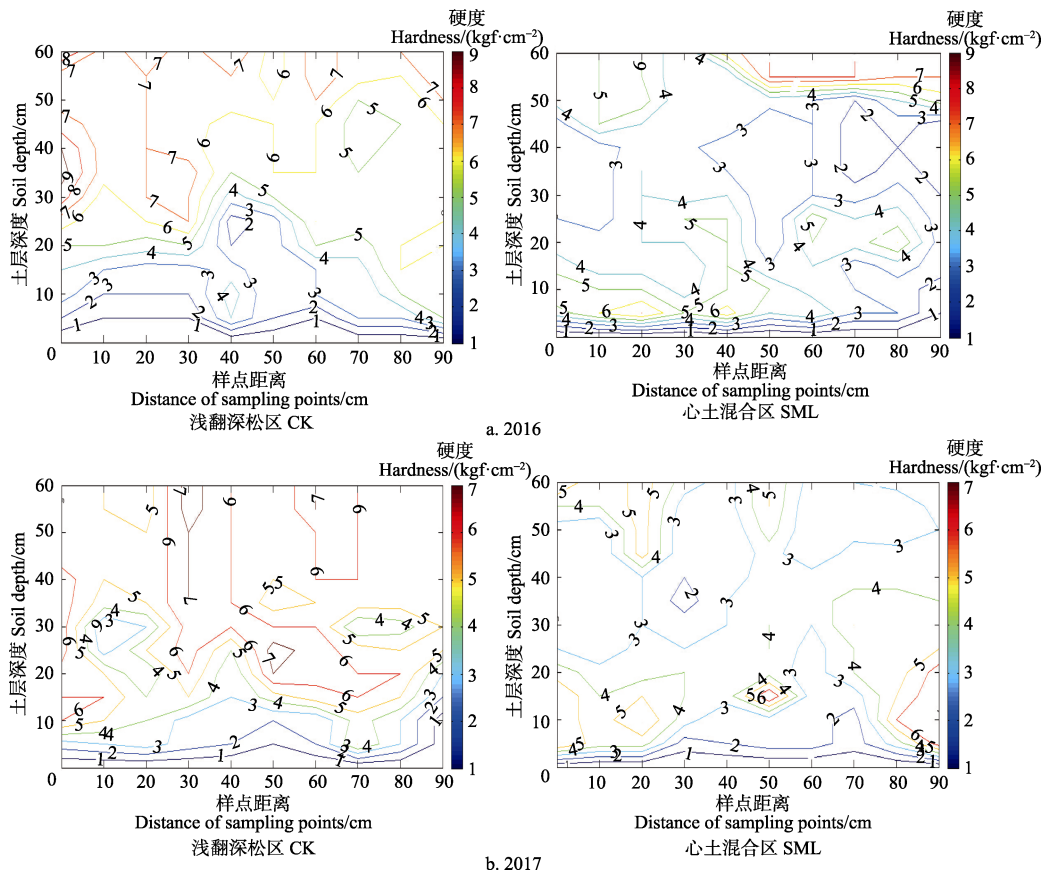


图 2 不同处理对土壤硬度的影响
Fig.2 Effect of different treatments on soil hardness

2.2 不同处理对土壤养分变化的影响

白浆土白浆层有机质含量低，粉砂含量高，养分含量低，特别是有效磷含量低，土壤呈偏酸性，影响作物对有效养分的吸收利用。秸秆还田配施石灰和磷肥 2 a 后，调查不同土层土壤养分变化，如表 4 可知，秸秆心土混合犁将改土物料秸秆、磷肥和石灰还入>20~40 cm 心土

层，心土层养分得到明显改善，2 a 后调查白浆土改土效果，不同处理与浅翻深松区相比都不同程度提高了心土层速效养分含量和全量养分含量，碱解氮提高 82.75%~121.63%，有效磷提高 190.91%~681.82%，特别是添加磷肥处理变化明显，是浅翻深松处理的 6.5~6.8 倍。土壤速效钾提高 20.7%~40.74%。有机质提高 157.14%~

185.71%。加石灰处理提高>20~60 cm 土层 pH 值,>20~40 cm 土层提高 0.45~0.47 个单位,>40~60 cm 土层提高 0.23~0.24 个单位。土壤全量养分提高分别为全氮提高 45.76%~52.54%,全磷提高 108.14%~144.19%,全钾提高 8.10%~26.34%。说明不同改土物料还入心土层,有效地提高了心土层养分含量,解决了白浆土心土层养分贫瘠的问题,保证了作物对养分的吸收利用。

2.3 不同处理对作物产量的影响

心土混合配施改土物料改土处理后,调查改土后 2 a

内作物产量变化。从表 5 可以看出,与浅翻深松处理相比,改土后第 1 a 种植大豆,心土混合处理大豆产量提高 10.41%,心土混合配施改土物料处理大豆产量提高幅度为 13.42%~24.46%。改土后第 2 a 种植玉米,心土混合处理玉米产量提高 10.40%,心土混合配施改土物料处理玉米产量提高幅度为 13.43%~19.17%,2 a 内不同处理与浅翻深松相比差异均达到显著水平。综合两年产量结果得出,秸秆+心土混拌+磷肥+石灰处理产量最高,对作物增产起到关键作用。

表 4 不同处理土壤养分情况
Table 4 Soil nutrient conditions with different treatments

处理 Treatments	土层 Soil layers /cm	碱解氮 Available N/(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	pH 值 pH value	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)
CK	0~20	184.38±7.11a	42.50±2.01a	136.50±5.95a	5.74±0.12a	27.10±1.17a	1.87±0.08a	2.17±0.15a	13.82±0.72a
	>20~40	67.54±4.20c	5.50±0.43c	94.23±2.31c	5.96±0.09b	5.60±0.22c	1.18±0.07c	0.86±0.11c	11.73±0.52b
	>40~60	51.12±4.60c	8.70±0.36b	132.62±4.06a	5.91±0.07a	4.60±0.32c	0.87±0.10c	0.79±0.15c	15.96±0.61a
SML	0~20	161.60±7.03a	43.00±1.96a	134.03±2.63a	5.66±0.08a	28.40±0.92a	1.75±0.11a	1.95±0.18a	13.40±0.35a
	>20~40	111.36±5.11b	16.00±1.43b	107.06±3.08b	5.99±0.06b	12.10±1.26b	1.26±0.08b	1.30±0.11b	13.89±0.39a
	>40~60	118.66±5.30a	11.00±0.78b	105.39±4.24b	5.96±0.10a	10.10±0.92b	1.49±0.09a	1.27±0.08b	14.84±0.38a
S+SML	0~20	169.78±6.32a	34.00±1.50a	135.95±6.06a	5.60±0.13a	32.50±1.00a	2.03±0.10a	1.98±0.16a	13.78±0.43a
	>20~40	136.12±5.20a	35.00±1.73a	113.74±4.72a	5.86±0.10b	14.40±1.26a	1.72±0.06a	2.10±0.13a	12.68±0.42a
	>40~60	115.01±4.21a	11.00±0.99b	103.16±4.39b	5.97±0.13a	12.90±0.72b	1.03±0.06b	1.13±0.09b	13.48±0.44a
S+SML+P	0~20	158.82±7.48a	39.00±1.62a	136.14±2.58a	5.65±0.10a	29.40±1.02a	1.74±0.05a	1.91±0.21a	14.82±0.29a
	>20~40	149.69±5.37a	43.00±1.51a	129.53±4.34a	5.88±0.08b	15.30±0.93a	1.80±0.06a	1.79±0.07a	14.82±0.49a
	>40~60	114.68±5.01a	16.25±0.90a	120.42±3.76b	5.88±0.10a	12.30±0.93b	1.57±0.07a	1.17±0.09b	12.30±0.96a
S+SML+L	0~20	164.30±7.17a	36.00±1.71a	138.17±5.43a	5.89±0.07a	29.40±1.41a	1.87±0.06a	1.96±0.17a	14.44±0.43a
	>20~40	123.43±4.92a	32.00±1.74a	132.62±5.19a	6.41±0.11a	15.40±1.18a	1.72±0.11a	1.95±0.10a	14.13±0.40a
	>40~60	104.85±4.99b	12.00±1.30b	115.41±3.73b	6.15±0.08a	13.80±0.81a	1.33±0.05a	1.11±0.11b	14.96±0.39a
S+SML+L+P	0~20	154.57±6.85a	49.00±1.93a	138.17±4.06a	5.96±0.09a	30.40±1.26a	1.72±0.10a	1.94±0.10a	14.48±0.44a
	>20~40	137.00±6.18a	41.00±1.43a	124.31±3.58a	6.43±0.18a	16.00±1.29a	1.79±0.07a	1.85±0.10a	12.91±0.37a
	>40~60	117.08±5.86b	17.00±0.82a	117.46±4.91b	6.14±0.18a	14.60±0.84a	1.10±0.10b	1.33±0.08a	13.66±0.34a

注：不同处理相同土层同列数值后不同小写字母代表 0.05 水平差异显著

Note: Values in the same column and soil layer of different treatments followed by different lowercase letters is different at 0.05 probability level.

表 5 不同处理对作物产量的影响

Table 5 Effects of different treatments on crop yield

处理 Treatment	大豆 Soybean (2016)		玉米 Maize (2017)	
	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	增产 Increas- ing rate /%	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	增产 Increas- ing rate /%
CK	1 885.83±33.63cB	—	7 488.78±35.98cC	—
SML	2 082.23±46.84bA	10.41	8 267.95±31.43bB	10.40
S+SML	2 139.00±43.80bA	13.42	8 494.33±46.03bAB	13.43
S+SML+P	2 298.03±49.02aA	21.86	8 872.60±48.72aA	18.48
S+SML+L	2 271.17±34.85aA	20.43	8 811.94±62.15aA	17.67
S+SML+L+P	2 347.07±38.70aA	24.46	8 924.45±56.28aA	19.17

注：同列数值后不同大小写字母分别代表 0.01 和 0.05 水平差异显著。

Note: Values in the same column followed by different capital letters and lowercase letters are different at 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

3 讨论

白浆土是黑龙江省旱地耕作主要低产土壤之一^[20],低产因素主要包括土壤物理性质与化学性质 2 个方面,而这 2 个方面的因素多出在坚硬的白浆层上,以往普通深松机械作业只是对土壤进行深松,只改善了土壤物理性状,没有改善土壤化学性状,且经过一个作物生育期

后,土壤硬度恢复原状^[21],需要年年深松,增加作业成本。本研究认为白浆土改良技术应以消除白浆层的障碍作用为突破口,打破障碍层次后再对贫瘠的心土层进行培肥,从而实现土壤理化性质同时改变的目的,根据以上观点本文研究秸秆心土混拌配施不同改土物料处理在改良白浆土不良物理性状的基础上,针对心土层养分状况,把前作物秸秆和改土物料全部还入心土层,既解决土壤心土层养分贫瘠的问题,又克服土壤水气失调带来的不良影响,经过 2 a 的调查发现物理指标和化学指标发生明显变化,改土效果十分显著。

白浆土土体构型差,物理性状不良,白浆土机械组成呈现两层性,粉砂含量高,白浆层膨胀性小,复原性强,不仅引起土壤本身板结、紧实、不透气根系难以下扎等一系列问题^[22-23],而且早时下层毛管水上不来,涝时耕层水下不去,表旱表涝严重,影响耕层质量。本研究通过白浆层和淀积层随机混拌处理,使白浆土由原来的两层性变为耕层,混拌层和淀积层,心土层土壤硬度和容重明显小于白浆层,硬度降低到原来的 1/2 左右,达到作物根系正常下扎硬度范围,而且 2 a 调查结果硬度没有还原,说明白浆层混拌淀积层后白浆层复原性降低,改土效果持久。白浆层混拌淀积层后,打破了障碍层次

白浆层, 解决了白浆土表旱表涝问题, 提高土体贮水库容, 土壤含水量提高 2~6 个百分点, 固相降低, 液相和气相升高, 三相比比例明显改善, 提高心土层土壤通透性, 增大贮水库容, 解决土壤表旱表涝问题。

白浆土白浆层养分含量低, 土壤偏酸性。前人研究结果表明白浆土白浆层速效养分含量低, 特别是速效磷含量低^[24], 且随着开垦年限的增加, 土壤酸化严重^[25-26], 以往研究主要是通过施用秸秆和有机肥来改善耕层土壤养分贫瘠问题^[27-28], 研究表明秸秆能够提高白浆土有机碳及团聚体重组^[29], 有机肥能够提高土壤酶活性^[30], 改善土壤环境, 并取得了一定的效果, 但秸秆和肥料只施用于耕层, 改善了耕层的化学性质, 对心土层养分没有影响。本研究利用心土混合犁结合秸秆、磷肥、石灰还入心土层, 活化心土层养分, 使心土层速效养分和全量养分得到明显提高, 特别是速效磷提高 6 倍左右, 有机质提高 2 倍左右, pH 值提高 0.5 左右, 而且心土混合犁打破白浆层后, 作物根系能够下扎到心土层吸收养分, 从而满足作物对养分的需求, 使土壤能够达到一般正常土壤生产要求。心土混合配施改土物料技术为黑龙江省白浆土区作物增产稳产提供技术保障。

4 结 论

心土混合配施改土物料技术在保持表土层位置不变的情况下, 实现了“上翻 20 cm, 下混 30~40 cm, 同时将改土物料还入心土层”的新农艺参数, 改善心土层土壤理化性状, 影响作物产量。

1) 心土混合配施改土物料改善白浆土物理性质。
>20~40 cm 土层土壤物理性质明显改变, 心土混拌配施改土物料各区含水量提高幅度为 2.11~6.11 个百分点, 改善土壤三相比值, 固相降低幅度为 8.5~9.97 个百分点, 液相和气相分别提高幅度分别为 2.82~5.41 个百分点和 3.89~6.65 个百分点, 容重下降幅度为 10.13%~17.09%, 硬度下降幅度为 40%~50%, 满足根系正常生长要求, 改土效果显著。

2) 心土混合配施改土物料改善白浆土心土化学性状。提高了>20~40 cm 心土层速效养分含量和全量养分含量, 碱解氮提高 82.75%~121.63%, 有效磷提高 190.91%~681.82%, 特别是添加磷肥处理变化明显, 是对照处理 6.5~6.8 倍。土壤速效钾提高 20.7%~40.74%。有机质提高 157.14%~185.71%。加石灰处理心土层 pH 值提高幅度为 0.45~0.47 个单位。土壤全量氮磷钾提高分别为 45.76%~52.54%, 108.14%~144.19%和 8.10%~26.34%。

3) 在对大豆产量及产量性状影响上, 心土混合配施改土物料可提高不同作物产量, 大豆产量提高幅度为 13.42%~24.46%, 玉米产量提高幅度为 13.43%~19.17%, 不同处理与对照相比差异达到显著水平。综合两年产量结果得出, 心土混拌+秸秆(18 000 kg/hm²)+磷肥(60 kg/hm²)+石灰(600 kg/hm²)处理产量最高, 对作物增产起到关键作用。

[参 考 文 献]

- [1] 赵德林. 三江平原低产土壤与改良[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1992: 60.
- [2] 刘婷婷, 高中超, 匡恩俊, 等. 白浆土某些物理性质的研究 I. 与土壤紧实和通透性质相关的几个物理特性[J]. 黑龙江农业科学, 2012(4): 49-52.
Liu Tingting, Gao Zhongchao, Kuang Enjun, et al. Study on physical characteristics of planosol I. some physical characteristics about soil compaction and permeability [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2012(4): 49-52. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘婷婷, 高中超, 匡恩俊, 等. 白浆土某些物理性质的研究 III. 白浆土微结构及孔隙特征[J]. 黑龙江农业科学, 2012(6): 45-48.
Liu Tingting, Gao Zhongchao, Kuang Enjun, et al. Study on physical characteristics of planosol III. Microstructure and porosity features [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2012(6): 45-48. (in Chinese with English abstract)
- [4] 贾会彬, 刘峰, 赵德林, 等. 白浆土某些理化特性与改良研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 130-137.
Jia Huibin, Liu Feng, Zhao Delin, et al. Research on some physical-chemical properties and improvement of Planosols [J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(2): 130-137. (in Chinese with English abstract)
- [5] 田秀平, 张之一. 不同耕作制下白浆土 pH 变化规律研究[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(3): 37-40.
Tian Xiuping, Zhang Zhiyi. Study on pH variation under different tillage system in ablic soil [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2015, 46(3): 37-40. (in Chinese with English abstract)
- [6] 罗丁. 白浆土改良耕作机[J]. 农牧与食品机械, 1994 (2): 8-10, 19.
- [7] 霍云鹏, 刘兴久, 张宏. 白浆土的水分物理性质与白浆土的改良[J]. 东北农学院学报, 1983(3): 69-75.
Huo Yunpeng, Liu Jiuxing, Zhang Hong. Discussion on the problem of planosol improvement based on the study of its physical property of moisture[J]. Journal of Northeast Agricultural College, 1983(3): 69-75. (in Chinese with English abstract)
- [8] 赵德林, 洪福玉. 三江平原主要土壤土体构造特点与治理途径的探讨[J]. 中国农业科学, 1983, 16(1): 54-61.
Zhao Delin, Hong Fuyu. Investigation on the characters of soil constitution of the major soils in the Sanjiang plain, and the way for soil conservation [J]. Scinetia Argrcultura Sinica, 1983, 16(1): 54-61. (in Chinese with English abstract)
- [9] 赵德林, 刘丰, 洪福玉, 等. 白浆土土体构型改造的研究[J]. 中国农业科学, 1989, 22(5): 47-55.
Zhao Delin, Liu Feng, Hong Fuyu, et al. Studies on transforming constitution of plansol solum [J]. Scinetia Argrcultura sinica, 1989, 22(5): 47-55. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赵德林, 刘丰, 贾会彬, 等. 心土混层耕改良白浆土效果研究[J]. 中国农业科学, 1994, 27(4): 37-44.
Zhao Delin, Liu Feng, Jia Huibin, et al. The effect of transforming planosol by using subsoil mixed plough[J].

- Scinetia Argrcultura sinica, 1994, 27(4): 37—44. (in Chinese with English abstract)
- [11] Araya K, Kudoh M, Zhao D, et al. Improvement of planosol solum: Part 5, soil bin experiments with a three-stage subsoil mixing plough[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 65(2): 143—149.
- [12] Araya K, Kudoh M, Zhao D, et al. Improvement of planosol solum: Part 6, field experiments with a three-stage subsoil mixing plough[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996b, 65(2): 151—158.
- [13] Araya K, Kudoh M, Zhao D, et al. Improvement of planosol solum: Part 4, field experiments with prototype roll-in and drop-down ploughs[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 63(3): 275—282.
- [14] Liu Feng, Jia Huibin, Zhang Chunfeng, et al. Improvement of planosol solum: Part 9, fertilizer distributor for subsoil [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 71(3): 213—219.
- [15] Jia Huibin, Liu Feng, Zhang Chunfeng, et al. Improvement of planosol solum. Part 10: mixing of wheat straw and corn stalk into subsoil [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 71: 221—226.
- [16] 刘峰, 张玉龙, 贾会彬, 等. 三段式心土混层犁及其改良白浆土效果的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 57—61.
- Liu Feng, Zhang Yulong, Jia Huibin, et al. Three-stage subsoil mixing plough and its improvement of planosol[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2001, 17(3): 57—61. (in Chinese with English abstract)
- [17] 贾会彬, 于忠和, 石凤善, 等. 抚远县应用三段式心土混层犁改良白浆土的可行性分析[J]. 黑龙江农业科学, 2005 (1): 4—8.
- Jia Huibin, Yu Zhonghe, Shi Fengshan, et al. Reasonable analysis of a three-stage subsoil mixing plough for the improvement of albic soil in Fuyuan County[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2005 (1): 4—8. (in Chinese with English abstract)
- [18] 朱宝国, 张春峰, 贾会彬, 等. 秸秆心土混合犁改良白浆土效果 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(15): 57—63.
- Zhu Baoguo, Zhang Chunfeng, Jia Huibin, et al. Effect of planosol improvement by using straw subsoil mixed layer plough[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(15): 57—63. (in Chinese with English abstract)
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 22—101.
- [20] 陈德祥, 张春峰, 王庆胜, 等. 三江平原主要土壤资源利用现状及对策[J]. 农学学报, 2012, 2(3): 21—24.
- Chen Dexiang, Zhang Chunfeng, Wang Qingsheng, et al. The status and countermeasures of the major soil resources utilization in Sanjiang Plain[J]. Journal of Agriculture, 2012, 2(3): 21—24. (in Chinese with English abstract)
- [21] 孟庆英, 张春峰, 贾会彬, 等. 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 552—559.
- Meng Qingying, Zhang Chunfeng, Jia Huibin, et al. Effects of mechanical soil amelioration method on physical properties of and enzyme activity in planosol[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(2): 552—559. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李志洪, 王淑华. 土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 55—95.
- Li Zhihong, Wang Shuhua. Effects of soil bulk density on soil physical properties and wheat growth[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(2): 55—59. (in Chinese with English abstract)
- [23] 高子勤, 宋玉, 芳关熙, 等. 白浆土形成过程中某些物理化学性质的研究[J]. 土壤学报, 1988, 25(1): 13—21.
- Gao Ziqin, Song Yu, Fang Guanxi, et al. Study on the physical and chemical properties of albic soils in the forming processes[J]. Acta Pedologica Sinica, 1988, 25(1): 13—21. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李会彬, 李东坡, 武志杰, 等. 不同开垦年限白浆土磷素吸附特征[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 218—223, 228.
- Li Huibin, Li Dongpo, Wu Zhijie, et al. The phosphorus adsorption characteristics of albic soil under different cultivation years [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(3): 218—223, 228 (in Chinese with English abstract)
- [25] 依艳丽, 万晓晓, 沈月, 等. 不同利用方式及不同开垦年限白浆土的肥力变化[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 449—455.
- Yi Yanli, Wan Xiaoxiao, Shen Yue, et al. Baijiang soil fertility changes under different land use type and reclamation years[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(4): 449—455. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张千丰, 元野, 刘居东, 等. 室内模拟: 生物炭对白浆土和黑土中氮素淋溶的影响[J]. 土壤与作物, 2012, 2(2): 88—96.
- Zhang Qianfeng, Yuan Ye, Liu Judong, et al. Effects of a Biochar on Nitrogen Leaching in an Albic Soil and Black Soil—A Simulating Lab Experiment[J]. Soil and Crop, 2012, 2(2): 88—96. (in Chinese with English abstract)
- [27] 董守坤, 刘丽君, 马秀峰, 等. 秸秆还田对白浆土养分含量的影响[J]. 作物杂志, 2011(1): 53—55.
- Dong Shoukun, Liu Lijun, Ma Xiufeng, et al. Effect of straw returning on planosol nutrient content[J]. Crops, 2011(1): 53—55. (in Chinese with English abstract)
- [28] 向春阳, 马艳梅, 田秀平. 长期耕作施肥对白浆土磷组分及其有效性的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 48—52.
- Xiang Chunyang, Ma Yanmei, Tian Xiuping. Effects of long-term culture and fertilization on the contents of form of phosphorus and their availability in albic soil[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(1): 48—52. (in Chinese with English abstract)
- [29] 孙元宏, 高雪莹, 赵兴敏, 等. 添加玉米秸秆对白浆土重组有机碳及团聚体组成的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(4): 1009—1017.

SunYuanhong, Gao Xueying, Zhao Xingmin, et al. Effects of corn stalk incorporation on organic carbon of heavy fraction and composition of soil aggregates in albic soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54(4): 1009—1017. (in Chinese with English abstract)

[30] 孟庆英, 韩旭东, 张春峰, 等. 白浆土施有机肥及石灰对

土壤酶活性与大豆产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(3): 56—60.

Meng Qingying, Han Xudong, Zhang Chunfeng, et al. Effects of organic fertilizer and lime application on soil enzyme and soybean yield in planosol[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017(3): 56—60. (in Chinese with English abstract)

Improving effect of planosol by deep tillage combined with subsoil mixed with ameliorative materials

Zhu Baoguo^{1,2}, Zhang Chunfeng^{1,2*}, Jia Huibin^{1,2}, Meng Qingying^{1,2}, Wang Nannan^{1,2},

Zhang Libo^{1,2}, Kuang Enjun³, Wang Qingsheng¹, Liu Jungang¹, Gao Xuedong¹

(1. Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China; 2. The Planosol Improvement Engineering Center of Heilongjiang Province, Jiamusi 154007, China; 3. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: Planosol is one of the main agricultural soils in the northeast of China, in which Heilongjiang and Jilin Province are relatively concentrated distribution areas. In the Heilongjiang Province, its total area is about 3.31 million hm²; the Sanjiang Plain located in its eastern region is planosol concentrated area, and its cultivated land area is about 0.88 million hm². Planosol is a kind of regional low yield upland soil, and 3 factors namely very thin black topsoil, naturally derived hard subsoil pan and over acidification after reclamation are considered as major obstacles triggering low yield. It was found that when its silt subsoil layer and clay subsoil layer were mixed while keeping the topsoil undisturbed, good soil improvement could be obtained. Since its subsoil is short of nutrient, its poor chemical property still remains unchanged by only using subsoil mixing method. In this paper, by making plot experiment, different ameliorative materials were input into the subsoil mixed to clarify the further effect on planosol improvement. The plot experiment included 6 treatments: common subsoil loosening (CK); subsoil mixed (SML) (operated by straw subsoil mixed plough); straw + subsoil mixed (S + SML); straw + subsoil mixed + phosphorus (P) fertilizer (S + SML + P); straw + subsoil mixed + lime (S + SML + L); straw + subsoil mixed + lime + P fertilizer (S + SML + L + P). The result showed that compared with the CK treatment, the rest treatments combined with ameliorative material achieved good results not only in the aspect of subsoil physical properties, but also in the aspect of subsoil chemical properties. Soil moisture in the depth from 20 to 40 cm beneath the soil surface was increased by 2.11-6.11 percentage point. Soil hardness at the same part was reduced by 40%-50%, and its peak of soil hardness disappeared. The soil three-phase ratio was improved with solid phase reduced by 8.5-9.97 percentage point, liquid phase increased by 2.82-5.41 percentage point and air phase increased by 3.89-6.65 percentage point. Its soil bulk density was decreased by 10.13%-17.09%. In the aspect of soil chemical properties, available nitrogen (N) was increased by 82.75%-121.63%; available P was increased by 190.91%-681.82%, and especially for the treatment of adding P, available P was 6.5-6.8 times as much as the CK; available potassium (K) was increased by 20.7%-40.74%. Organic matter was increased by 157.14%-185.71%. In the aspect of alleviating soil acidity, the pH value of the treatment for adding lime was increased by 0.45-0.47. Meanwhile, soil total N, P, and K were increased. Total N was increased by 45.76%-52.54%, total P was increased by 108.14%-144.19%, and total K was increased by 8.10%-26.34%. In the year of 2016, soybean yield was increased by 13.42%-24.46%, and in the year of 2017 maize yield was increased by 13.43%-19.17%. It achieved stable effect on increasing yield by once operation. From above mentioned, the mixed subsoil combined with application of straw, lime and P fertilizer can achieve better results on planosol improvement. This study can thus provide technical support for planosol improvement, and be useful for the improvement of other soils which have similar property of low yield.

Keywords: soils; straw; lime; subsoil mixed; ameliorative material; planosol; physical properties; chemical properties